第 40 卷 第 3 期 2022 年 9 月 | 天 文 学 进 展 PROGRESS IN ASTRONOMY | Vol. 40, No. 3 Sept., 2022

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2022.03.10

武清 70 m 天线座架日照热效应仿真分析及测量

刘泽鑫[1,2]，张洪波[1,2]，孔德庆[1,2]，朱新颖[1,2]，李 臣[1]，
薛喜平[1,2]，汪 赞[1,2]，刘宇晨[1,2]

(1. 中国科学院 国家天文台 月球与深空探测研究部，北京 100101； 2. 中国科学院大学 天文与空间科学学院，北京 100049)

摘要： 开展大口径天线座架日照热效应分析，对于提高天线的指向精度具有重要意义。以武清 70 m 口径 GRAS-4 天线为研究对象，考虑太阳辐射、环境温度和热传递等因素的影响，得到天线座架在白天温度场和热变形变化情况。结果表明：天线座架的温度场和变形与太阳位置和环境温度相关性强，向阳面和阴影面温度分布有明显差异，同一梁在不同时刻温度分布也有明显差异；座架局部最高温度为 39.4°C，最大温差为 10.7°C；最大变形为 10.0 mm，座架在东西方向上的变形对温度的变化最敏感，整体变形 RMS 最大为 3.68 mm。底梁温度传感器的实测结果表明仿真的准确性较高，两者间均方差为 1.1°C。轴角偏差实测结果表明轴角测量结果与座架温度场变化有显著相关性。仿真结果和实测数据为后期天线指向精度的提高和结构优化提供了参考。

关 键 词： 大孔径天线；座架；仿真分析；温度场；热变形

中图分类号： P111.44 **文献标识码：** A

1 引 言

对于大口径天线，指向精度是评价其工作性能的一个重要指标。由于控制天线俯仰角和方位角的结构均安装在座架上，座架的变形会严重影响天线的指向精度，故对座架的仿真模拟必不可少。影响天线形变的主要因素有重力载荷、风力载荷和温度载荷：对于重力造成的线性变形，一般会在设计阶段予以考虑，使影响尽可能减小[1]；对于风力载荷，座架迎风面积相对反射面较小，在研究座架结构变化时一般不纳入考虑范围；对于温度载荷，由于座架

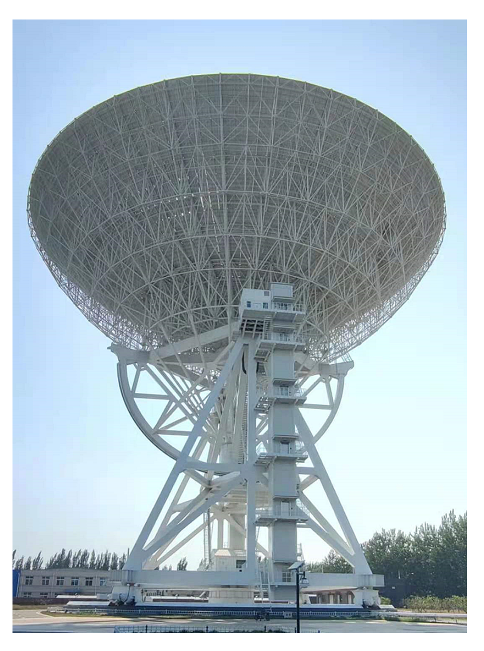
收稿日期： 2021-12-21； **修回日期：** 2022-04-01

资助项目： 国家自然科学基金 (11941002)

通讯作者： 朱新颖，zhuxy@nao.cas.cn

长时间在自然环境中工作，不同时刻太阳对座架的照射情况不同，并且座架不断以辐射、传导和对流等方式与外界环境发生作用，其温度场会不断改变，因此研究日照对天线座架的热效应是当今重要研究课题。

对其他天线进行仿真和测量后发现，太阳照射导致座架温度分布不均，进而使结构变形情况相当严重。在国外，Bayley 等人[2]对剑桥 MERLIN 32 m 口径天线开展指向热效应研究，根据测量结构关键位置温度实现天线指向的热补偿修正。Ambrosini 等人[3] 对 32 m 天线进行了热效应研究，分析天线基座梁温度与仰角轴变形之间的关系，为天线的改进提供了参考。美国学者 Myung 等人[4]对 30 m TMT 望远镜结构开展了热效应研究，利用 CFD 和 ANSYS 等软件对 TMT 及其所处环境进行仿真模拟，预测望远镜结构在 3 d 内每小时的热变形。Borovkov 等人[5]建立了 RT 70 m 天线主反射面温度场的数学和三维有限元模型，对天线的温度场变化进行了详细的描述和分析，重点研究了太阳辐射对于主反射面的面形精度影响。在国内，王慧等人[6]利用 FEMAP 软件对新疆 26 m 天线座架开展了温度分布和变形分析，其测量结果与仿真结果变化规律基本一致。常文文等人[7]利用有限元法对新疆 25 m 天线座架进行结构热特性分析，结果表明座架结构的热变形严重影响天线指向。刘岩等人[8]以拟在新疆奇台建设的 100 m 望远镜为研究对象，采用瞬态传热有限元分析方法，综合考虑太阳辐射和对流换热等，为未来结构施工等提供数据参考。孔德庆等人[9]以密云 50 m 天线为研究对象，仿真并测量了座架温度分布对于轴角测量的影响，表明两者之间具有强相关性。


图 1 收藏状态下的武清 70 m 天线

武清 70 m 天线是中国火星探测任务中接收探测器下行科学数据的重要设备，其机械结构单元主要包括反射体和座架两部分[10]，如图 1 所示。目前天线工作波段为 X, S 和 Ku 三个波段，将来会扩展至 Ka 波段。由于 Ka 波段波束更窄，要求天线的指向性更好，所以必须研究日照对于座架变形的影响。本文按照热分析和热结构耦合分析的一般过程，以武清 70 m 天线为研究对象，借助 SOLIDWORK 进行建模和 ANSYS 热分析模块进行仿真，重点考虑太阳辐射和热传递，对一天内天线座架的温度分布和变形情况进行仿真，分析不同时刻日照对于座架结构变形的影响，安装温度传感器进行实测，并分析了轴角测量偏差产生的原因，为今后天线的改进和温度补偿提供参考。

2　天线座架温度场分析相关理论

对于工作在自然环境中的射电望远镜，一般通过热传导、热对流和热辐射三种基本热交换方式实现自身与外界环境的热量交换，使得望远镜结构与周围环境形成瞬态热平衡系统[11]。本文依据热传递原理、热传递方式以及太阳辐射理论的相关知识，对天线座架开展温度场分析。

2.1　热传递原理及方式

热分析遵循热力学第一定律[12]，即能量守恒定律。瞬态热平衡方程为：

$$\boldsymbol{C}(\boldsymbol{T})\dot{\boldsymbol{T}}+\boldsymbol{K}(\boldsymbol{T})\boldsymbol{T}=\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{T}) \quad , \tag{1}$$

其中，$\boldsymbol{C}(\boldsymbol{T})$ 为比热矩阵，包含系统内能的增加；$\boldsymbol{T}$ 为节点温度向量；$\dot{\boldsymbol{T}}$ 为温度对时间的导数；$\boldsymbol{K}(\boldsymbol{T})$ 为传导矩阵，包含导热系数、对流系数及辐射率和形状系数；$\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{T})$ 为节点热流率向量，包含热生成。

70 m 天线座架结构温度场包括热传导、热对流和热辐射三种热传递方式[12, 13]。热传导指梁自身或者梁与梁之间相互接触由于温差引起的内能交换，与材料性质和温度梯度等有关。对流指固体与温度不同的运动流体接触时，流体将能量传给物体或从物体带走能量的过程，可以分为自然对流和强制对流[14]。座架结构与周围空气的对流换热的热流密度 q_c 为：

$$q_{\rm c}=h_{\rm c}(T_{\rm a}-T_{\rm sur}) \quad , \tag{2}$$

式中，$h_{\rm c}$ 为对流换热系数，$T_{\rm a}$ 为结构表面温度，$T_{\rm sur}$ 为环境温度。$h_{\rm c}$ 取值[15]如下式：

$$\begin{cases} h_{\rm c}=3.83v+3.67 & (\text{对于结构外表面}) \\ h_{\rm c}=3.5 & (\text{对于结构内表面}) \end{cases} \quad , \tag{3}$$

其中，$h_{\rm c}$ 的单位为 $\rm W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$。

热辐射指物体发射电磁能，并被其他物体吸收转变为热的能量交换过程。物体温度越高，单位时间辐射的热量越多，且无需任何介质。座架结构与周围空气的辐射换热热流密度 $q_{\rm r}$ 为[16]：

$$q_{\rm r}=\varepsilon\sigma(T_{\rm a}^4-T_{\rm sur}^4) \quad , \tag{4}$$

式中，ε 为结构表面黑度系数 ($0\ll \varepsilon \ll 1$)，σ 为斯忒藩-玻尔兹曼常数 (5.66×10^{-8} $\rm W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$)。

2.2　太阳辐射相关理论

作用在座架结构上的辐射来源于太阳的直接辐射，天空散射辐射以及地面反射辐射。其中，最主要的是太阳直接辐射。

结构受到的太阳直接辐射与太阳高度角、方位角、结构表面法线和太阳入射方向夹角有关。太阳的高度角和方位角由下式得到：

$$\begin{cases} \sin\alpha=\sin\varphi\times\sin\sigma+\cos\varphi\times\cos\sigma\times\cos\omega \\ \cos\beta=(\sin\varphi\times\sin\alpha-\sin\sigma)\times\sec\alpha\times\sec\varphi \end{cases} \quad , \tag{5}$$

式中，α 为太阳高度角，β 为太阳方位角，σ 为赤纬角，ω 为时角，φ 为地理纬度。赤纬角和时角表示为：

$$\begin{cases} \sigma = 23.45^\circ \sin\left(\dfrac{284+N}{365}\right) \\ \omega = 15^\circ(-12+t) \end{cases} , \tag{6}$$

式中，N 为从元旦算起的日序数，t 为时刻数。太阳光到达地球大气层上方的辐射强度表示为[17]：

$$I_{\mathrm{S}} = I\left(1 + 0.034\cos\frac{2\pi N}{365}\right) , \tag{7}$$

式中，I 为太阳常数[18]，取 1 367 $\mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}}$。地面上垂直于太阳入射方向的平面受到太阳辐射近似表示为[19]：

$$I_0 = I_{\mathrm{S}}\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha + \dfrac{1-P}{P}} , \tag{8}$$

式中，P 为大气透明系数，随天气晴朗程度变化，一般取值范围为 $0.53 \sim 0.85$。

综上，座架结构表面受到日照直接辐射为：

$$I_{\mathrm{d}} = I_0\cos\theta . \tag{9}$$

太阳辐射中的一部分被大气吸收、散射和反射，各方向均匀地投射到地表建筑上，与建筑物表面方位无关。太阳散射辐射表示为[10]：

$$I_{\mathrm{a}} = I_{\mathrm{h}}\frac{1+\cos\gamma}{2} , \tag{10}$$

式中，γ 为表面倾角，I_{h} 为水平面所受太阳散射辐射, 表示为[17]：

$$I_{\mathrm{h}} = (I_{\mathrm{s}}0.271 - 0.294 I_0)\sin\alpha . \tag{11}$$

太阳直接辐射和散射辐射经地面反射照射到建筑物上。地面反射辐射表示为[17]：

$$I_{\mathrm{f}} = (I_0 + I_{\mathrm{h}})\,R_{\mathrm{s}}\frac{1-\cos\alpha}{2} , \tag{12}$$

式中，R_{s} 为地表反射率，近似取 0.2。

3 天线座架日照温度场热效应仿真与测量

70 m 天线处于天津武清，地理位置为北纬 39.536°，东经 117.099°，海拔高度约为 10 m。以 2021 年 6 月 5 日为分析日期，当日最高气温为 33.0°C，最低气温为 18.0°C，风速为 $3 \sim 4$ 级，天线处于方位角为 0°，俯仰角为 90° 的收藏状态。根据第 2 章内容计算出不同时刻太阳对水平面的辐射强度，20 时以后太阳高度角小于 0°，此时太阳辐射为 0，见图 2。

本文采用 SOLIDWORKS 软件进行几何建模，先将模型导入 ANSYS 软件中，再利用 SOLID186 单元和 SOLID187 单元进行划分，然后根据边界条件完成热分析。座架主要由三种不同截面的箱型梁构成，截面分别为 800 mm × 800 mm, 800 mm × 1000 mm 和 800 mm × 1500 mm，壁厚应为 25 m。座架为平面对称结构，主要由两侧“A”字梁、斜支梁、底梁以及二层平台构成，如图 3 所示。座架材料为普通低合金钢[10]，其性质如表 1 所示。考虑到座架外侧涂有富锌底漆，座架表面辐射吸收率取为 0.5。

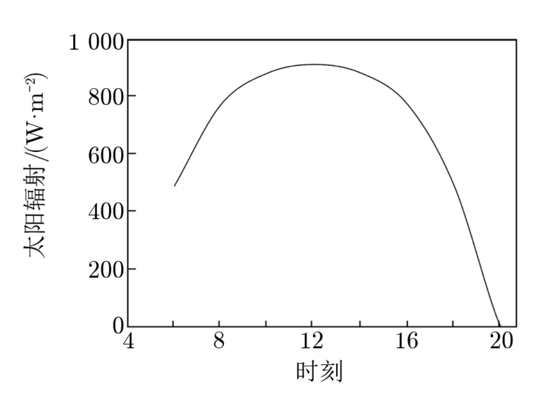
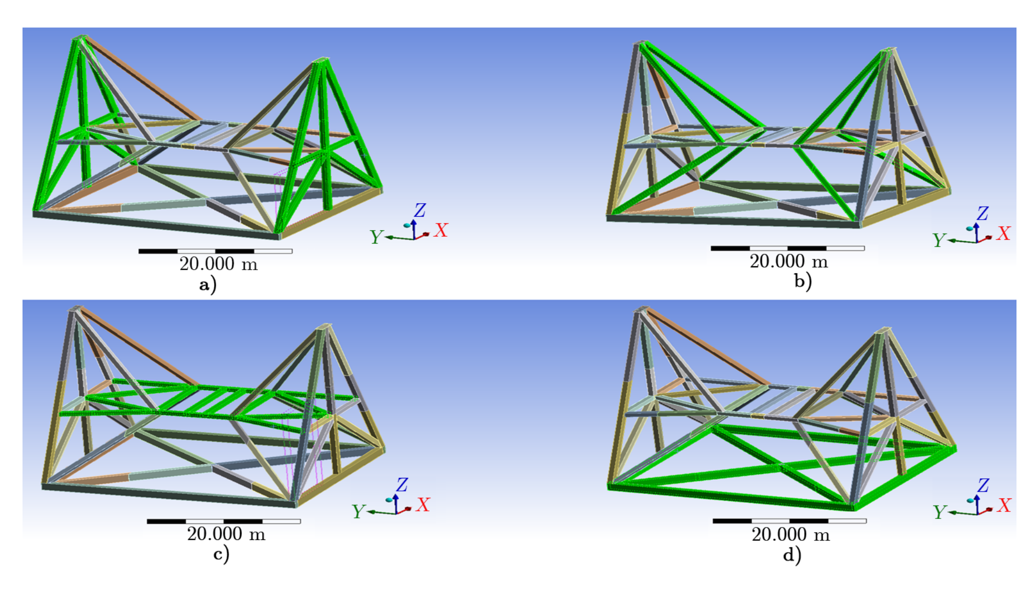


图 2　太阳对水平面的辐射强度



注：a) “A”字梁；b) 斜支梁；c) 二层平台；d) 底梁。

图 3　70 m 天线座架模型及各梁划分

表 1　普通低合金钢 (16Mn) 材料性质

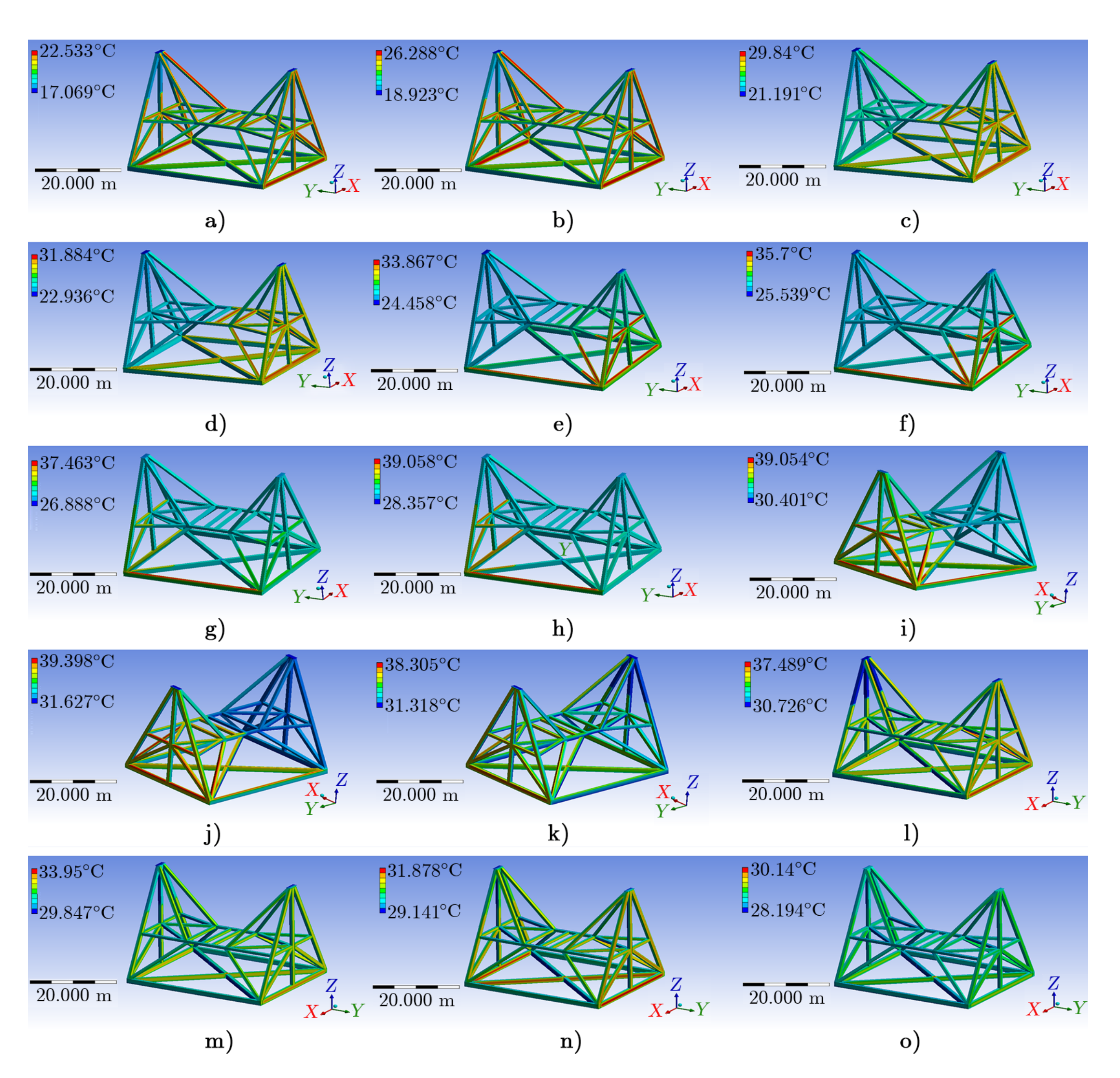
热导率 /$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$	比热容 /$J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$	密度 / $g\cdot cm^{-3}$	弹性模量 /MPa	泊松比	热膨胀系数 /$m^{-1}\cdot K^{-1}$
48	0.48×10^3	7.8	2.1×10^5	0.3	1.2×10^{-5}

3.1　座架结构温度场分析

根据第 2 章的理论介绍以及仿真环境，计算出不同时刻座架各部分的热流密度、对流和辐射换热系数等，以早上 6 时为分析初始时刻，晚上 21 时为结束时刻，考虑反射体对于

座架的遮挡情况，为节约仿真计算时间，太阳辐射以 2 h 为一载荷步加载，对流换热系数和环境温度以 1 h 为一载荷步加载，进行瞬态热分析，得出座架在不同时刻的温度场。

座架温度场的仿真结果如图 4 所示，其中轴 X 为正北方，轴 Y 为正西方，轴 Z 为竖直向上。可以看出：随着太阳位置的变化，温度变化从座架东侧到南侧再到西侧表现出先上升再下降的趋势。在 9 —11 时和 13 —16 时两个时间段，座架东西两侧温度分布情况明显不同。在 16 时左右，座架局部温度达到最高温度，为 39.4°C，此时太阳位于座架西南方向，高温主要出现在下斜支梁的西侧以及 “A” 字梁的西侧。17 时之后，座架各梁温度逐渐趋于一致。并且注意到，梁与梁的连接处与空气接触面积大，利于换热，所以其温度比周围低。



注：a)—o) 分别为 7—21 时的座架温度场。

图 4　不同时刻座架温度场的仿真结果

图 5 为不同时刻座架温度变化的仿真结果。可以看出座架的最高温度和最低温度变化趋势大致相同，均随着环境温度和太阳辐射的变化呈现出相应的规律。由于环境温度的升高和太阳辐射强度的增强，座架温度在 7 —16 时这段时间呈现明显上升趋势。座架不同梁之间的最大温差在 6 时后迅速变大，然后趋于稳定；在 14 时以后逐步减小，21 时减小至 1.9°C；其最大值出现在 14 时，为 10.7°C。

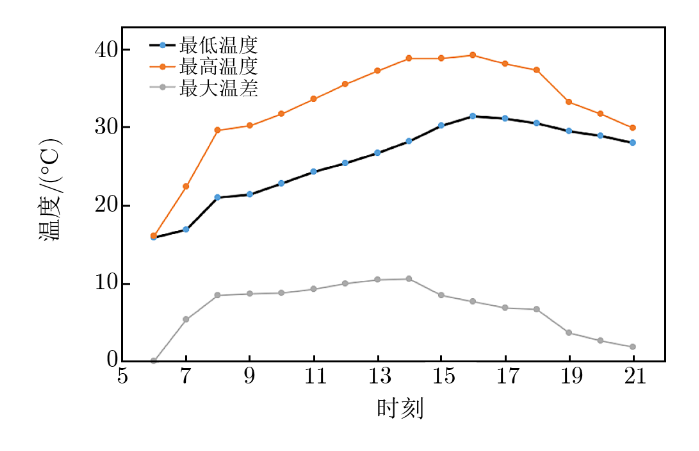


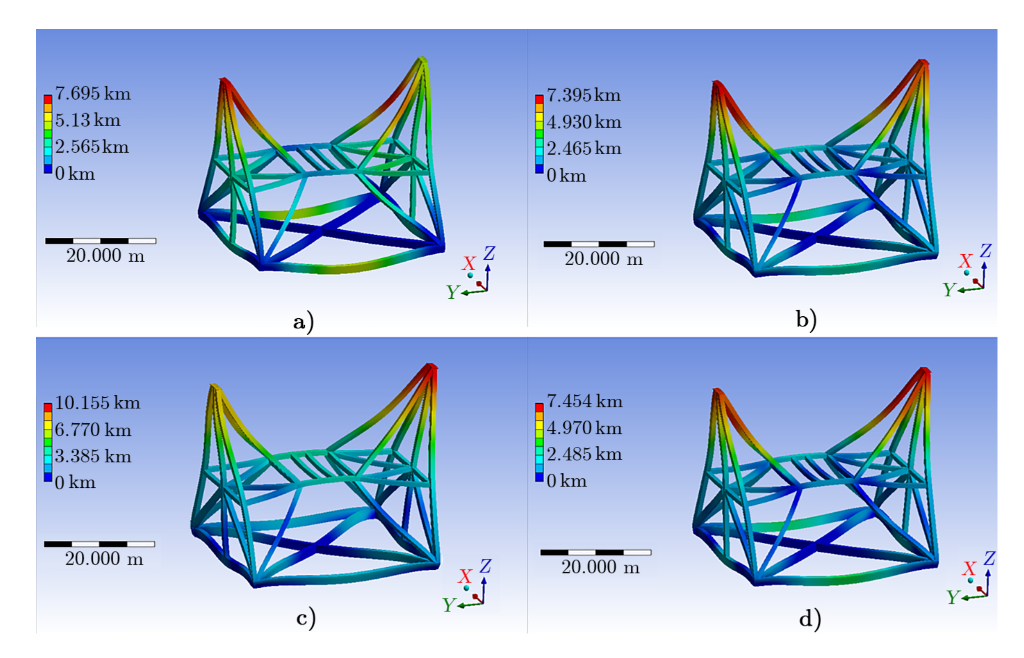
图 5　不同时刻座架温度变化的仿真结果

3.2　座架结构热-结构耦合分析

由于座架受到外界的位移约束，在温度场发生改变时，会出现因温变导致的应变和位移，即热应变和热变形。在 3.1 节求出的不同时刻座架的温度分布的基础上，进行热结构耦合分析。考虑座架自重和反射体所受重力影响，将反射体的质量 (900 t) 施加在与“A”字梁接触面上；在座架驱动轮 (座架南侧 2 个底轮) 处施加了全自由度位移为 0 的约束；在座架从动轮座架 (北侧 2 个底轮) 处施加了竖直方向上位移为 0 的约束，并在方位轴所处位置施加了轴 Z 方向上位移为 0 的约束及绕轴 X 和轴 Y 转角为 0 约束；从而求出不同时刻座架不同部分的变形情况。

图 6 展示了部分座架变形仿真结果。对比图 4 可以看出，座架结构的变形不完全随着温度场的变化而变化。上午 8 时，座架东侧“A”字梁东面和西侧上斜支梁东面温度均较高，西侧“A”字梁顶部的变形是东侧“A”字梁的两倍多，说明上斜支梁的温度变化会极大地影响“A”字顶端的热变形。正午 12 时，变形较大的部位为两侧“A”字梁，对比 12 时的温度场，“A”字梁顶部温差不大，但由于“A”字梁底部结构温差较大，累加起来使得“A”字梁顶部变形较大。晚上 21 时，太阳下山，座架慢慢冷却，之后的座架变形主要由座架和反射体的重力引起。整体来说，座架上午东侧变形明显，下午西侧变形明显，中午座架东西两侧变形相互对称，太阳照射部位变形明显高于未照射部位。

座架各方向最大形变量如图 7 所示。可以看出，东西方向形变与总形变的变化趋势基本一致，受座架温度的影响较大；南北方向形变在 2.3 mm 附近波动，竖直方向形变在 3.9 mm 附近波动，两者受温度影响较小。座架东西方向形变最大值为 10.3 mm，出现在下



注：a)－d) 分别为 8, 12, 17 和 21 时的座架形变仿真结果。

图 6 座架形变仿真结果

午 18 时附近，此时太阳直射座架西侧，东侧完全处于阴影部分，座架温度场分布在东西方向上极为不对称，并且此时环境温度在 32°C 附近，相对于最高环境温度 34°C 差别不大，因此一天中座架的最大形变出现在 18 时附近。对比图 6，座架形变是重力和温度场共同作用的结果。

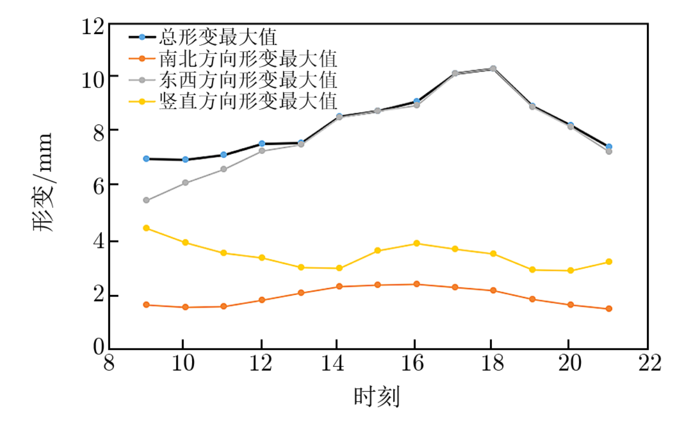


图 7 座架形变各方向最大值

为反映座架结构不同时刻的整体变形情况，按下式计算变形均方根：

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{n} X_i^2} \quad , \tag{13}$$

式中，n 为节点数，X_i 表示同一时刻不同节点的热变形量。为反映温度场对座架形变的影响，另计算出未施加温度场的结构分析，结果如图 8 所示。未施加温度场时，座架形变 RMS 为 3.06 mm；施加温度场后，座架整体形变从 8 时开始，先下降后上升再下降，下降是因为在仿真形变时设置的参考温度为 22.0°C，8 —10 时这一时段座架整体升温，所以整体形变量减小，然后由于太阳辐射增强和环境温度增大，整体形变量上升并在 16 时达到最大值 3.68 mm，此时座架的热变形最为严重，而后随着环境温度的降低和太阳辐射减弱，座架形变逐渐减小。

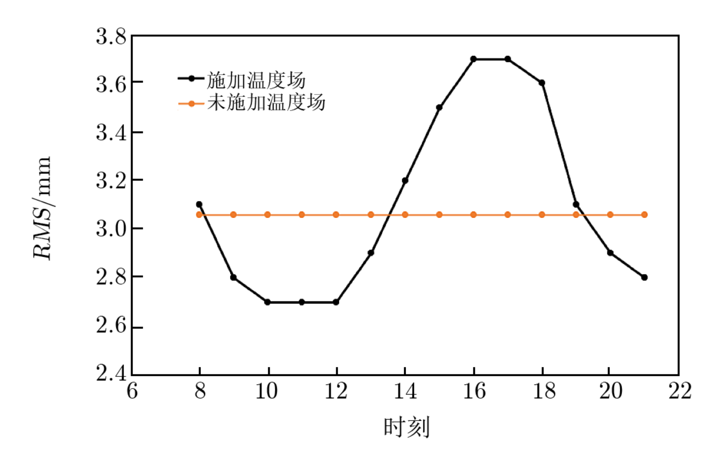


图 8　座架变形 RMS 变化情况

3.3　温度传感器测量结果

为验证仿真结果和后期温度与指向补偿模型的建立，在座架的底梁安装了 3 个 PT100 铂电阻温度传感器，于 2021 年 6 月 5 日进行温度测量，传感器分别位于北侧底梁北面、南侧底梁南面和东侧底梁东面，如图 9 所示，其测量精度为 0.1°C[20]。图 10 是各个时间点底梁温度的仿真和测量结果，可以看出仿真结果与实测数据变化趋势大体一致，但是有一定的偏差，实测值与仿真结果的均方误差在为 1.1°C。偏差产生的原因主要有两点：(1) 仿真中一些设定的参数值不能实时地根据环境变化进行调整，比如风速和环境温度；(2) 仅考虑了反射体对于座架的遮挡情况，并未考虑座架梁与梁之间的遮挡情况。

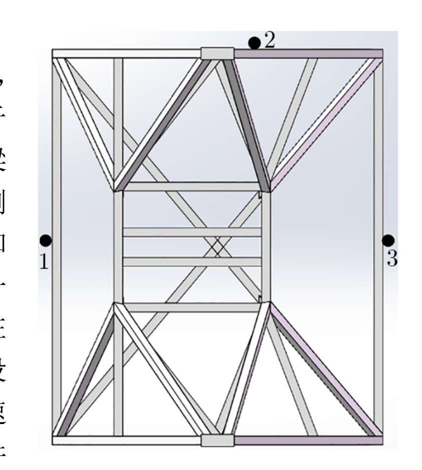
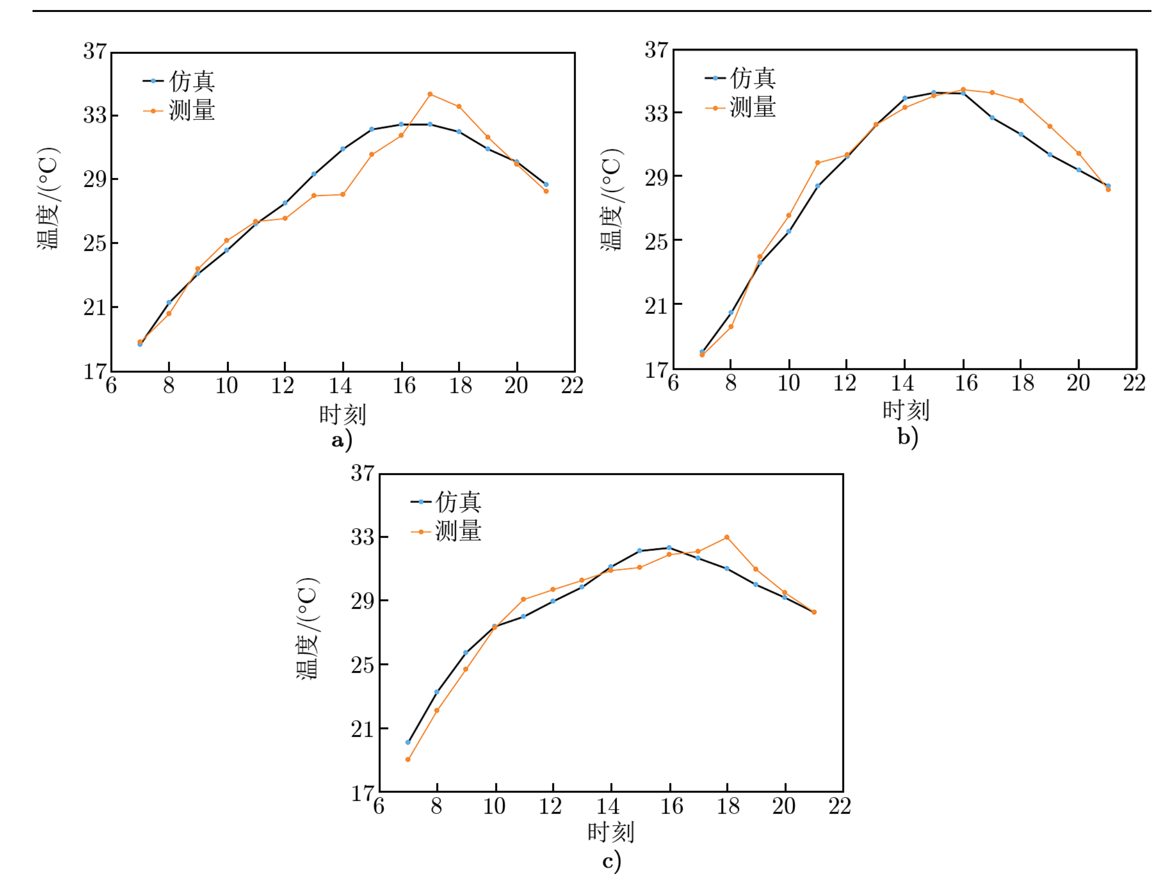


图 9　温度传感器所处位置



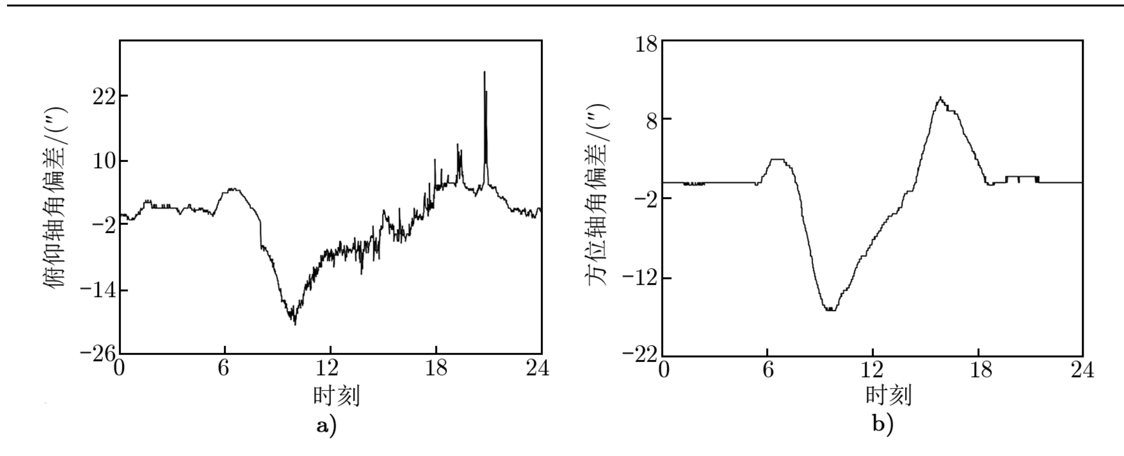
注：a) 1 号传感器；b) 2 号传感器；c) 3 号传感器。

图 10 武清 70 m 天线座架部分模型

3.4 轴角偏差测量结果

70 m 口径天线自身带有俯仰轴角和方位轴角测量功能，采用了绝对式角度编码器 RCN8510，轴角测量系统精度为 1″，编码器工作环境为密封的环控空间，工作空间内湿度、温度环控，并每秒对轴角进行一次测量[10]。外界环境的变化会导致座架变形，进而使轴角出现微小的变化，测量装置会将这些偏差记录下来。

图 11 显示了 2021 年 6 月 5 日轴角测量结果。可以看出夜间方位轴角与俯仰轴角偏差均在 0 附近。6 时起，俯仰轴角和方位轴角开始出现偏差，偏差绝对值呈现出先增大后减小再增大的趋势，21 时以后随着太阳落山，偏差逐步趋向于 0，方位轴角偏差绝对值最大为 16.2″，俯仰轴角偏差绝对值最大为 26.28″。由于俯仰轴与反射体直接连接且反射体迎风面积大，相较于方位轴角，俯仰轴角更容易受到风的影响而发生变化，因此俯仰轴角偏差曲线有许多突出的峰。对比图 5 可以看出，方位轴角测量偏差与座架温度分布有显著的相关性。图 5 反映了座架上午与下午的温度分布以南北为对称轴对称，东侧上午温度高，西侧下午温度高；方位轴角偏差曲线表明了轴角偏差上午与下午的变化方向相反。



注：a) 俯仰轴角偏差；b) 方位轴角偏差。

图 11　各个时间点轴角偏差

4　总结与展望

本文以武清 70 m 天线为仿真分析和测量对象，对天线座架各部分的温度分布和热变形进行仿真分析，在底梁设置温度传感器进行测量，并对轴角测量偏差进行分析，结果呈现出一定规律。

仿真结果表明，一天内座架温度场的变化是环境温度和太阳辐射共同作用的结果，在 16 时，座架的下斜支梁的西侧以及“A”字梁的西侧温度达到最大值 39.4 °C，此时反映座架整体热变形情况的 RMS 也达到最大值 3.68 mm，对于天线指向的影响最大。最大温差在太阳升起和落下前后变化迅速，在中间一段时间趋于稳定，其最大值出现在 14 时前后，为 10.7 °C。座架东西方向形变与总形变的变化趋势基本一致，最大值为 10.0 mm；南北方向和竖直方向形变受温度影响较小，前者在 2.3 mm 附近波动，后者在 3.9 mm 附近波动。另外，上斜支梁的温度变化对于“A”字梁顶端的热变形影响较大。

实测数据表明，温度仿真结果与温度实际测量值变化趋势大体相似，但有一定偏差，均方根误差为 1.1°C，说明仿真结果准确性较高，可以反映座架温度场的变化情况。造成偏差的原因有两个：(1) 固定的仿真参数不能随环境变化而变化；(2) 仅考虑了反射体对于座架的遮挡情况，未考虑座架各梁之间的遮挡情况。轴角测量偏差与座架温度场具有显著的相关性，并且俯仰轴角比方位轴角对环境风的敏感程度更大。

在后续的研究中，将在其他梁上设置温度传感器，以更全面地把握天线座架温度场的变化。根据轴角测量偏差结果，建立其与座架温度场之间的数学模型，对天线的指向进行温度补偿，从而提高天线指向精度。

参考文献：

[1] 张萍. 电子机械工程, 2014, 30(6): 4
[2] Bayley A M, Davis R J, Haggis J S, et al. Astronomy and Astrophysics, 1994, 283(3): 1051
[3] Ambrosini R, Grueff G, Morsiani M, et al. Astrophysics and Space Science, 1996, 239(2): 247
[4] Cho M, Corredor A, Vogiatzis K, et al. Proceedings of SPIE-The international Society for Optical Engineering, 2010, 7738: 124
[5] Borovkov A I, Shevchenko D V, Gimmelman V G, et al. Antenna Theory and Techniques, 2003, 2: 651
[6] 王惠, 宁云炜, 闫浩. 天文研究与技术, 2018, 15(2): 8
[7] 常文文, 艾力·玉苏甫, 许谦, 等. 机械科学与技术, 2015, 34(5): 5
[8] 刘岩, 钱宏亮, 范峰. 建筑科学与工程学报, 2015, 32(3): 8
[9] 孔德庆, 姜正阳, 张洪波, 等. 中国科学: 技术科学, 2019, 49(11): 12
[10] 中国电子科技集团公司第三十九研究所. 首次火星探测任务地面应用系统GRAS-4 天线详细设计报告. 2017: 34
[11] Hadavand M, Yaghoubi M. Applied Energy. 2008, 85(8): 663
[12] 孔祥谦, 王传溥. 有限单元法在传热学中的应用. 北京: 科学出版社, 1981: 5
[13] 赵镇南. 传热学. 北京: 高等教育出版社, 2002: 21
[14] Cheng J. The principles of astronomical telescope design. New York, USA: Springer, 2009: 12
[15] Boley B A. Journal of Applied Mechanics, 1972, 39(1): 787
[16] 柳叶. 硕士论文. 哈尔滨工业大学, 2013: 26
[17] 钟杰. 硕士论文. 哈尔滨工业大学, 2012: 32
[18] 王绍武. 气候变化研究进展, 2009, 5(01): 61
[19] 曹发辉. 硕士论文. 成都: 西南交通大学, 2004: 13
[20] 胡鹏程, 时玮泽, 梅健挺. 光学精密工程, 2014, 22(04): 988

Simulation Analysis and Measurement of Thermal Effect of Wuqing 70-meter Antenna Frame

LIU Ze-xin[1,2], ZHANG Hong-bo[1,2], KONG De-qing[1,2], ZHU Xin-ying[1,2], LI Chen[1], XUE Xi-ping[1], WANG Zan[1,2], LIU Yu-chen[1,2]

(1. Key Laboratory of Lunar and Deep Space Exploration, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: It is important to analyze the thermal effect of the large aperture antenna frame to improve the pointing accuracy of the antenna. The daytime temperature field and thermal deformation of 70-meter diameter antenna's steel frame are generated and analyzed, considering the influence of solar radiation, ambient temperature and heat transfer. The simulation results show that the temperature field and deformation of the antenna frame are strongly correlated with the position of the sun and the ambient temperature. The temperature distribution of the sunward side and the shadow side is obviously different,

and the temperature distribution of the same beam is also obviously different at different time. The maximum temperature of the seat frame is 39.4°C, and the maximum temperature difference is 10.7°C; The maximum deformation is 10.0 mm. The deformation of the frame in the east-west direction is the most sensitive to the variation of temperature. The maximum RMS of the overall deformation is 3.68 mm. The measured results of the bottom beam temperature sensor show that the simulation accuracy is high, and the mean square error between them is 1.1°C. The measured results of shaft Angle deviation show that there is a significant correlation between the measured results of shaft Angle and the temperature field of the frame. The simulation results and measured data will be very helpful for future improvement of antenna pointing accuracy and structure optimization.

Key words: large aperture antenna; frame; simulation analysis; temperature field; thermal deformation